

EMERGENCE DE LA COOPERATION DANS UN MARCHE CONCURRENTIEL EN PRIX ET
EN QUANTITES A TRAVERS UN PROCESSUS EVOLUTIONNAIRE

Rémi Dorat

– **doctorant, Lifl (Laboratoire d’informatique fondamentale de Lille),**

professional and personal address, phone, fax, email, short CV (3 lignes)

Raluca Parvulescu

- **doctorant, Clersé (Centre lillois d’études et des recherches sociologiques et économiques)**
- **Adresse professionnelle : Cité scientifique, Bât. SH1, bureau 19C, 59655 Villeneuve d’Ascq. Tél. 03.20.43.77.16. Email : ri.parvulescu@ed.univ-lille1.fr**
- **Adresse personnelle : 2, rue de Wattignies, 59175 Vendeville. Tel. 06.89.63.11.67.**

Nicolas Vaneecloo

- **professeur en économie, Clersé**
- **???**

Jean Paul Delahaye

- **professeur en informatique, Lifl**

EMERGENCE DE LA COOPERATION DANS UN MARCHE CONCURRENTIEL EN PRIX ET
EN QUANTITES A TRAVERS UN PROCESSUS EVOLUTIONNAIRE

Résumé – *Dans cet article nous montrons, à l'aide de simulations informatiques massives, que, sur un marché concurrentiel, les comportements sélectionnés à la fin d'un processus évolutionnaire sont des stratégies de type coopératif qui cherchent à mettre en place une issue de cartel. Cette prédominance est d'autant plus forte que le nombre d'agents sur le marché est élevé. L'issue de cartel apparaît sur le marché dans une première phase (qui correspond à l'installation des comportements coopératifs) mais elle est perturbée par la remontée des comportements non coopératifs, même si leur proportion reste minoritaire.*

Mots clé – **concurrence, comportement, issue coopérative, concurrentielle, cycle de Edgeworth**

Abstract: *In this article we will show, with the help of substantial computer simulations, that in a competitive market the behavior selected at the end of an evolutionary process is one of the cooperative strategies aimed at creating the end-state of a cartel. Contrary to the conventional wisdom, we show that the higher the number of market competitors, the stronger this tendency. The cartel end-state appears in the first phase of the selection process, but it is disrupted by the slight growth of non-cooperative behaviors, even though the intensity of this phenomenon is rather slow.*

Keywords: competition, behaviour, competitive end-state, cartel end-state, Edgeworth price-cycle

Introduction

Le marché d'un bien homogène à prix affichés et production anticipée¹ représente une énigme. L'analyse traditionnelle soutient que, dès lors que le nombre d'offreurs sur le marché est élevé, il convergerait vers l'issue qui correspond à l'issue « concurrentielle » d'un marché centralisé² : les vendeurs, du fait de leur nombre, s'y considéreraient comme simples « preneurs de prix » et proposeraient, au « prix du marché » une quantité qui maximise leurs revenus (règle d'égalisation du coût marginal au prix). Or, du côté des vendeurs, quel qu'en soit le nombre, cette issue n'est pas stable³ et elle est dominée par une autre : l'issue de cartel (situation où les vendeurs maximisent leurs profits joints). Cette issue est également instable car elle ouvre la porte à des comportements stratégiques de type « meilleure réponse » : si tous ses adversaires jouent une politique de cartel, la meilleure réponse d'un vendeur est de proposer, à la période suivante, un prix légèrement plus faible tout en augmentant les quantités produites afin de maximiser son profit. Lorsque les agents adoptent ce type de stratégie, les prix affichés oscillent entre les deux issues (de cartel et de concurrence), sans se stabiliser (cycle dit d'Edgeworth).

Les trois issues (concurrentielle, coopérative et cycle de prix) sont toutes possibles sur le marché. Ce qui conduit le marché vers une issue particulière, c'est l'adoption, par les vendeurs, des comportements que ces issues sous-entendent (preneur de prix, coopératif ou « meilleure réponse »).

Nous proposons d'aborder ce marché à travers une démarche évolutionnaire en effectuant des simulations informatiques. Le processus de sélection, bien qu'il soit fondamental pour

¹ Où les offreurs doivent afficher le prix auquel ils mettent en vente la quantité qu'ils ont produite. La production a lieu avant l'affichage des prix, ce qui augmente le risque d'obtenir des invendus.

² Une issue n'est un équilibre que si aucun agent n'a intérêt à en dévier. L'issue concurrentielle correspond à produire, au prix affiché la quantité qui égalise prix et coût marginal. De plus, à cette issue, la quantité totale offerte est égale à la quantité totale demandée.

³ Cf. Edgeworth (1925), Dasupta, Maskin (1986), Friedman (1988)

les biologistes, n'est utilisé que marginalement par les économistes⁴. Or cette démarche paraît parfaitement adaptée pour étudier le phénomène de concurrence en ce qu'il sous entend lui aussi un processus de sélection. Dans la large gamme de stratégies que peuvent adopter les firmes, il est naturel de penser que celles qui marchent le mieux se disséminent : les nouveaux arrivés adoptent d'emblée les stratégies réputées efficaces et les firmes déjà en place sont tentées d'imiter leurs adversaires qui réussissent. Quelle que soit l'explication retenue, l'évolution devrait laisser survivre et proliférer uniquement ces « meilleures » stratégies. Nous nous demandons ici, quels comportements le marché sélectionne, et des trois issues *a priori* possibles sur le marché, laquelle domine à la fin du processus.

Cette méthode a été employée pour connaître les conditions dans lesquelles la stratégie d'équilibre dans le jeu simple peut être sélectionnée dans le cadre d'un processus de sélection « naturelle ». Cette méthode a été appliquée par Hehenkamp, Leininger [1999] et Alos-Ferrer ; Ania ; Schenk-Hoppé [2000] pour analyser le contexte de marché à prix affichés à la Bertrand⁵. A notre connaissance aucune étude évolutionnaire n'a été réalisée pour le marché à prix affiché avec production anticipée.

En revanche, ce marché a été analysé à travers les expérimentations qui font jouer des participants humains (Kruse 1993, Davis, Holt 1994, Kruse et al. 1994, Wilson 1998, Brandts, Guillen 2004, Puzzello 2007). Les résultats obtenus lors de ces expérimentations montrent que les trois types d'issues sont possibles dans ce marché. De plus, toutes ces analyses réfutent l'hypothèse que les participants adoptent les stratégies qui correspondent à l'équilibre de Nash. Notre analyse se situe dans le prolongement de ces travaux et fait

⁴ Alchian [1950], Enke [1951], Freidman [1953] avaient invoqué l'argument de la sélection naturelle pour consolider l'hypothèse que les acteurs sur un marché concurrentiel adoptent un comportement qui peut être validé *ex post* comme étant un comportement de preneur de prix.

⁵ Dans ce marché les vendeurs décident des prix affichés et seul le(s) vendeur(s) ayant affiché le prix le plus faible réalise(nt) les transactions. Selon la forme de la fonction de production des agents, le marché à la Bertrand, deux types d'issues sont possibles dans le jeu simple dans ce marché.

l'hypothèse que la définition « standard » de la rationalité ne peut pas être appliquée au cadre de marché étudié. Par conséquent, même si les joueurs étaient « rationnels » dans le sens instrumental du terme, ils ne sauraient toujours pas quelle politique adopter. Nous proposons donc de remplacer le concept de rationalité instrumentale par un autre concept, celui de la « rationalité cognitive » (Boudon 2006). Ce concept postule qu'un agent est rationnel si tous les moyens employés pour atteindre son objectif sont cohérents avec sa conception du milieu dans lequel il évolue. Autrement dit, même si le joueur se trompe (aux yeux d'un observateur extérieur) du milieu dans lequel il évolue, tant que sa conception (ou perception) est fondée sur ses connaissances et sur l'ensemble d'informations dont il dispose, le joueur est rationnel. La rationalité des vendeurs dans un marché se détermine par rapport au paradigme choisi. L'analyse économique nous en offre trois, dont découlent trois familles de comportements : le preneur du prix, le coopératif et le stratégique. Les comportements qui ont été utilisés dans nos évolutions écologiques sont déterminés par rapport à ces trois modèles.

Cet article est organisé de la manière suivante : dans la première partie nous exposons les douze stratégies que nous avons utilisées sur le marché. La deuxième est consacrée à la mise en place du marché évolutionnaire (organisation du marché, mécanisme de sélection des stratégies). Nous présentons les résultats de nos simulations informatiques dans la troisième partie. Nous y montrons que les stratégies coopératives dominent tandis que seules une ou deux stratégies non coopératives (au plus) survivent pendant le processus de sélection. L'installation des coopératifs sur le marché s'accompagne un temps d'une domination de l'issue de cartel mais celle-ci ne résiste pas à la réapparition de comportements non coopératifs. Nous montrons, de plus, qu'aucune des trois issues avancées par l'analyse économique traditionnelle ne se produit dans ce cadre de marché.

En fin de processus le marché reste quasi-stable, avec des prix au niveau du prix de l'issue de cartel et quelques « accidents » des prix au niveau du prix de l'issue concurrentielle.

1 Description des comportements participant au marché

Les comportements simulés sur le marché évolutionnaire s'appuient sur les hypothèses théoriques rappelées dans l'introduction (pour les règles exactes de comportement voir l'Annexe A). Chaque comportement est défini en fonction de l'attitude adoptée implicitement par rapport au marché.

1.1 Les comportements de « preneur de prix »

Ces comportements partent du principe que l'interaction des offreurs dégagera un prix de marché, sur lequel aucun agent ne peut peser, et que la seule réponse rationnelle est de s'y adapter au mieux en égalisant le coût marginal de la quantité produite au prix dont on anticipe l'apparition sur le marché. Les quatre comportements que nous avons dérivés de cette attitude se distinguent par la façon dont l'agent détermine son prix d'offre conformément à cette anticipation.

Pour un joueur *preneur de prix* de type 1 l'ensemble des stratégies possibles sur un marché concurrentiel se réduit à un seul point : la politique qui correspond à l'issue concurrentielle⁶. Le joueur de ce type se place d'emblée dans cette position, en ignorant que cette issue n'est pas stable dans ce contexte de marché.

Le deux comportements suivants ont pour base l'imitation d'une situation observée : le preneur de prix de type 2 adopte comme prix la moyenne des prix affichés à la période

⁶ Cette politique est calculable (comme celle de cartel, ou de stratégie prudente) dans le contexte supposé ici d'information parfaite sur les conditions de production et de demande.

précédente. Le preneur de prix de type 3 s'aligne lui sur le prix qu'avait adopté le concurrent ayant obtenu le plus de profit à la période précédente.

Le preneur de prix de type 4 est le plus évolué dans sa catégorie car il participe au processus de recherche du prix du marché⁷ : lorsqu'il écoule la totalité des quantités produites, il augmente son prix et lorsqu'au contraire, il subit une mévente, il le baisse⁸.

1.2 Les comportements coopératifs

Le but ultime des comportements *coopératifs* est d'essayer d'atteindre l'issue de cartel. Celle-ci est caractérisée par une auto limitation de la quantité mise sur le marché par chacun et un niveau de prix élevé. Pour y parvenir, les joueurs limitent volontairement leur quantité produite à la demande « fractionnelle » qui leur écherait si tous les autres pratiquaient la même politique qu'eux. Comme les joueurs adoptant ces comportements sont susceptibles d'afficher plus souvent des prix élevés, ils ont, a priori, une grande sensibilité au caractère plus ou moins « prédateur » des autres comportements qui se mettent en place sur le marché. A l'exception du comportement (pur) qui consiste à joueur en permanence la politique qui correspond à l'issue de « cartel » (comportement coopératif de type 1), les trois autres ont été conçus comme des comportements mixtes. Les joueurs manifestent leur côté « coopératif » seulement s'ils considèrent que l'environnement leur est favorable. En fonction du degré de la « rationalité » du comportement, le signal attendu parvient soit de l'agent même (l'état de ses propres

⁷ Par un processus semblable à celui du tâtonnement walrasien.

⁸ Espérance de hausse et de baisse sont égales à « k ». Le même paramètre k est utilisé pour tous les comportements dont l'adaptation se réalise de manière graduelle. Dans les simulations présentées nous l'avons pris égal à 5%.

ventes à la période précédente, pour les types 2 et 3) soit du marché (excès d'offre ou non sur le marché, pour le type 4)⁹.

Un joueur coopératif de type 2 se déplace sur sa courbe de demande « fractionnelle », affichant un prix qui est une moyenne pondérée entre le prix qui correspond à l'issue de cartel (k) et le prix qui correspond à l'issue concurrentielle ($1-k$). La valeur du coefficient a est fonction de la situation de ses ventes : s'il écoule la totalité des quantités produites, a augmente de 5% sinon il baisse de 5%.

Le coopératif de type 3, lorsqu'il a subi une mévente, se place en dessous du dernier prix auquel toutes les quantités produites ont été écoulées tout en limitant sa production à sa demande fractionnelle à ce prix. En revanche, lorsqu'il a écoulé la totalité des quantités produites il augmente son prix de 5%.

Le comportement coopératif de type 4 est le plus « rationnel » : il ne joue le coup de cartel que s'il pense possible son succès (c'est-à-dire quand le niveau de l'excès d'offre est au plus faible¹⁰) ; dans le cas contraire, il se replie sur la politique « prudente » de maximin¹¹.

1.3 Les comportements « stratégiques »

Est dit « *stratégique* » un comportement qui se propose de tirer le meilleur parti d'une situation donnée en essayant, le plus souvent, de prendre les autres à contre-pied en proposant un prix légèrement plus faible et produisant la quantité « optimale ».

⁹ Remarquons au passage que tous les comportements qui apparaissent ici sont caractérisés par une mémoire de niveau 1, dans le sens où ils se fondent sur les résultats obtenus à la période précédente.

¹⁰ Le coopératif de type 4 joue le coup de cartel dès lors qu'aucun des vendeurs sur le marché n'a subi un rationnement de son offre supérieur à 5%.

¹¹ Cette stratégie de maximin consiste à adopter la politique qui donne le meilleur résultat face à des concurrents qui adopteraient des politiques les plus défavorables pour elle. Pour le marché utilisé dans nos simulations, cette politique consiste à afficher un prix légèrement supérieur au prix de l'issue concurrentielle et à produire la quantité légèrement inférieure à la demande fractionnelle à ce prix. Si tous les joueurs adoptent cette politique, le marché se trouve en excès de demande.

Le joueur « stratégique » de type 1 adopte une politique de meilleure réponse face aux décisions prises par ses adversaires à la période précédente. Ceci peut le conduire soit à pratiquer un prix plus faible qu'eux en mettant en vente la quantité optimale à ce prix soit à remonter, lorsqu'il n'y pas d'invendus, vers le point de cartel en limitant cette fois sa propre production.

Les deux comportements suivants sont des versions adaptatives de ce comportement « stratégique ». Le « stratégique » de type 2 n'adopte la stratégie de meilleure réponse que lorsqu'il subit une mévente. Dans le cas contraire, il se contente de profiter du bon état des ventes pour augmenter son prix. Le « stratégique » de type 3 procède à l'inverse : meilleure réponse lorsqu'il ne subit pas de mévente et baisse de prix dans le cas contraire. Le « stratégique » de type 4 adopte quant à lui une version améliorée de la stratégie de meilleure réponse : il retient en effet la meilleure réponse qu'il pourrait opposer à la situation qui résulterait de l'adoption par tous ses adversaires de la stratégie de type 1.

En plus de ces trois catégories de comportements, qui sont fondés dans une perspective « rationnelle », nous avons introduit dans une de nos simulations un comportement supplémentaire (mimétique) qui consiste à simplement copier la décision de prix et de quantité qui a obtenu le meilleur profit à la période précédente¹².

2 La démarche utilisée pour la mise en place d'un processus évolutif

Une simulation est composée de plusieurs générations. Chaque génération correspond à un marché sur lequel les divers comportements se confrontent. Les conditions de production sur le marché simulé sont identiques pour tous les agents (nous avons retenu une fonction

¹² Ce comportement est, du point de vue de la théorie économique, « irrationnel » car aucun processus de réflexion sur l'état du marché n'accompagne les décisions.

de coût marginal quadratique). La demande totale du marché est iso-élastique de coefficient -2. Lorsque l'on fait varier le nombre d'opérateurs, la demande totale varie en proportion (voir l'Annexe B pour les fonctions de demande et de coût utilisées).

Au début de la première génération, on attribue à chacun des 12 comportements envisagés un effectif de 1000. On tire au hasard n comportements parmi le réservoir de 12000 existants et on les place sur le même marché. Les échanges se déroulent sur le marché ainsi constitué pendant 100 périodes. Les décisions de prix et de quantité adoptées à la première période sont tirées au hasard dans l'espace des couples prix et quantités possibles¹³. Partant de cette position, les agents modifient à la période suivante ces décisions selon leur type¹⁴ et ainsi de suite. Au bout de vingt périodes, dans toutes les simulations, tous les marchés sont proches (pendant les 80 périodes restantes) de l'une des issues possibles : l'issue de cartel, l'issue concurrentielle ou l'issue de cycle de prix à la Edgeworth. La répartition de ces n joueurs entre les différents comportements est alors modifiée selon le niveau des profits obtenus par chacun d'eux au cours de ces 80 périodes de régime stable¹⁵. Ce processus de réaffectation des joueurs entre les différents comportements est donc très progressif puisqu'il ne touche que les n agents ayant participé au marché sur les 12000 du réservoir initial. C'est pourquoi le processus est itéré un grand nombre de fois. En pratique, dans toutes les simulations, on observe une stabilisation de la composition en comportements du réservoir au bout d'environ 20.000 générations¹⁶. Nos générations "microscopiques" ne concernent qu'un petit nombre de stratégies à la fois et on peut évaluer qu'il faut en fait 1200 générations microscopiques

¹³ L'espace du prix est borné à gauche par le prix le plus faible qui peut être affiché sur le marché (il correspond au seuil de rentabilité, le minimum du coût moyen) et à droite par le prix de l'issue de cartel. Les quantités sont tirées dans l'intervalle situé à gauche de la capacité maximale de production.

¹⁴ Toutes les politiques sont bruitées par un aléa normal multiplicatif d'espérance 1 et d'écart type égal à 4% pour les prix et de 8% pour les quantités. Pour éviter les valeurs extrêmes du bruit, nous avons borné l'intervalle sur lequel celui-ci est tiré à $[-3\sigma ; 3\sigma]$.

¹⁵ Les comportements ayant obtenu les résultats les plus mauvais diminuent en proportion tandis que ceux qui ont obtenu les meilleurs résultats augmentent.

¹⁶ Cette stabilité a été vérifiée à chaque fois en poursuivant les itérations jusqu'à 50 000 générations.

pour constituer une véritable générations concernant chaque stratégie (avec une bonne probabilité).

Un petit nombre des ces macro-générations est nécessaire cette fois pour voir de dérouler les évolutions qui nous intéressent. Dans cet article nous ne faisons pas cette conversion des micro-générations en macro-générations, d'où les chiffres élevés de nombres de générations qui apparaissent dans nos résultats¹⁷.

Pour étudier le lien entre le processus de sélection et le nombre d'agents en interaction trois simulations sont présentées ici. La première (S1), constitue le scénario central et prend n égal à 10. Dans les deux autres (S2 et S3) ce nombre est respectivement de 5 et de 20.

Dans deux simulations supplémentaires (S4 et S5) nous avons testé la robustesse de nos résultats à la valeur du paramètre k , variable d'adaptation graduelle pour une partie de nos comportements. Dans le scénario central (S1) ce paramètre est égal à 5%. Dans la simulation S4 le paramètre k est égal à 1% et dans la simulation S5, ce paramètre est égal à 9%.

Lors des simulations S6 et S7 nous avons testé l'impact de la variation du niveau de bruit appliqué aux décisions des vendeurs. Dans ce contexte de marché, le bruit peut être interprété comme une sorte de confusion des agents (une forme de rationalité limitée) : plus le bruit est important, plus le « brouillard » qui entoure une règle de comportement est fort. Dans la simulation 6 nous avons divisé par 10 le bruit appliqué dans la simulation de base tandis que dans la simulation 7 le bruit initial a été multiplié par 2.

Dans la simulation 8 nous avons modifié la manière avec laquelle les joueurs traitent l'information à leur disposition. Dans la simulation de base une partie des agents fondent leurs décisions uniquement en fonction de leurs propres situations de vente, il s'agit donc d'un traitement local de l'information. Ceci est le cas des « preneurs de prix » de type 1, des « coopératifs » de type 2 et de type 3 et des « stratégiques » de type 2 et de type 3. Dans la

¹⁷ A titre d'exemple nous précisons que pour notre cas de base (avec $n=10$) l'espérance mathématique du nombre de générations nécessaires à ce que tous les comportements soit sélectionnés du réservoir initial est comprise entre 8 et 25 générations (intervalle de confiance à 95%).

simulation 8 tous ces comportements utilisent, pour prendre leurs décisions, les informations concernant l'état du rationnement moyen du marché¹⁸.

Dans la simulation S12 nous avons introduit dans la population initiale le comportement mimétique.

Les résultats ont été validés en relançant plusieurs fois les simulations ci-dessus et en établissant des simulations complémentaires. Le temps machine consacré aux simulations dans cet article est d'environ 715 heures sur un processeur cadence à 2.40 GHz.

3 Résultats

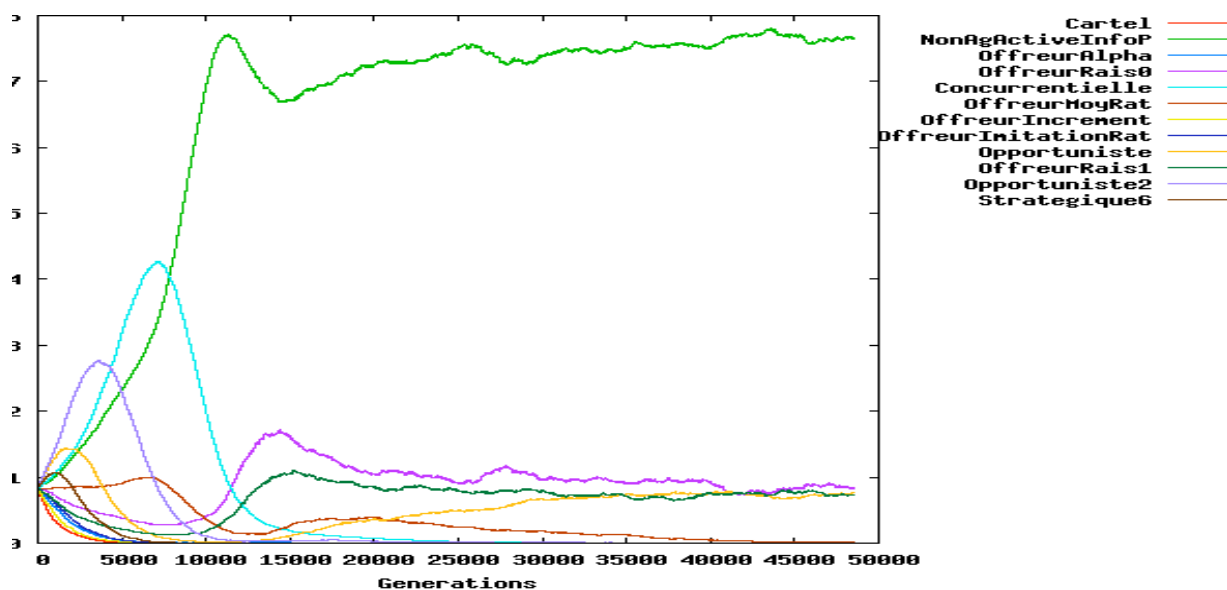
Le processus évolutionnaire sur un marché concurrentiel nous intéresse pour deux raisons. La première est de connaître les comportements qui survivent sur le marché. La deuxième est liée à l'issue effective d'un tel marché (autrement dit, l'issues effective qui s'impose). Mais comme le processus de sélection s'opère, nous le verrons, en deux phases distinctes, nous nous intéressons également aux états intermédiaires du marché.

3.1 Les comportements coopératifs « vainqueurs » du processus de sélection

Contrairement à l'opinion dominante sur la non-tenabilité des comportements coopératifs, ce sont ces comportements (et tout particulièrement le quatrième) qui s'imposent à l'issue du processus de sélection. Pour illustrer le processus de sélection dans la simulation de base (S1) nous proposons ci-dessous le graphique qui retrace l'évolution de la distribution des comportements lors de cette simulation.

¹⁸ Par taux de rationnement moyen nous entendons le rapport entre la quantité totale produite et non vendue sur un marché et la quantité totale produite dans ce même marché. Par souci de symétrie, nous avons gardé le même seuil de rationnement « accepté » égal à 5%.

Graphique 1. Evolution de la distribution des comportements dans S1



Nous observons, à partir de ce graphique que l’instauration de la dominance des comportements coopératifs de type 4 s’est opérée lors des premières 12 000 générations. La progression des coopératifs de type 4 s’accompagne dans un premier temps d’une augmentation relative d’autres comportements (les preneurs de prix de type 2 et de type 3, les stratégiques de type 1 et de type 4, les coopératifs de type 2). Parmi eux, seuls les stratégiques de type 1 réussissent à s’imposer à la fin du processus de sélection. Les autres comportements disparaissent à l’issue de cette première phase. Leur baisse relative coïncide avec la hausse importante des coopératifs de type 4 qui atteignent une proportion considérable dans le marché : 77.1%. Six autres comportements survivent lors de cette phase, sans que la proportion relative d’aucun d’entre eux ne dépasse 10% : les preneurs de prix de type 1 et de type 2, les coopératifs de type 3, les stratégiques de type 1, 2 et 4. Lors de la deuxième phase du marché, l’installation des coopératifs de type 4 est définitive : pendant les 35 000 « générations » que dure cette phase, la proportion relative

de ce comportement varie très peu. A la fin du processus de sélection, ce comportement représente 77.6% du réservoir total des comportements. Le reste est disputé, à l'égalité par les coopératifs de type 3 et les stratégiques de type 1 et 2.

Le processus de sélection illustré ici, qui caractérise la simulation 1 se produit, dans des proportions relativement proches dans toutes les simulations réalisées. Dans la première phase (dite « phase d'installation ») l'évolution conduit à l'élimination massive de toutes les stratégies concurrentes. Cet état se continue par une sorte de cohabitation de ce comportement avec d'autres comportements (le plus souvent, les coopératifs de type 3 plus un ou deux comportements plus « agressifs »).

L'analyse des simulations complémentaires nous a offert un autre résultat surprenant : le nombre n d'offres mis en présence sur nos marchés joue à l'inverse de l'opinion communément admise. La dominance des comportements coopératifs est en effet d'autant plus importante que le nombre n de vendeurs sur un marché est élevé : la proportion des comportements coopératifs dans le réservoir final est de 80.5% pour $n = 5$, de 85% pour $n = 10$ et de 91.8% pour $n = 20$.

Par ailleurs, les résultats obtenus sont robustes aux différentes variations de paramétrage : la proportion des coopératifs de type 4 est de 75.2% pour $k = 1\%$ (S4) et de 77.5% pour $k = 9\%$ (S5). De même, lorsque nous passons à un traitement global de l'information pour tous les comportements dans le marché (S8), la proportion des coopératifs de type 4 reste inchangée : 75.9%.

La dominance de ce comportement est robuste aux niveau de bruit, même si la proportion finale semble en être affectée : elle est de 66.7% lorsque nous divisons le bruit initial par 10 (S6) et de 60.8% lorsque nous le multiplions par 2 (S7). Nous faisons le même constat pour la variation des comportements en présence : la proportion des coopératifs de type 4

reste inchangée lorsque nous introduisons les mimétiques dans le réservoir final (S12) : 71.5%.

Pour une analyse de la composition en comportements de toutes les simulations réalisées, nous proposons, dans l'Annexe C, le Tableau 1 dans laquelle nous récapitulons les distributions des comportements pour chacune de ces deux phases.

3. 2 L'issue coopérative, « vainqueur » éphémère du processus de sélection

La description de situations de marché engendrées par l'interaction des comportements peut être retracée à l'aide de deux indicateurs¹⁹. Le premier, dit indice de coopération traduit l'aptitude collective des vendeurs à se saisir des opportunités offertes par l'issue de cartel. Il est égal à :

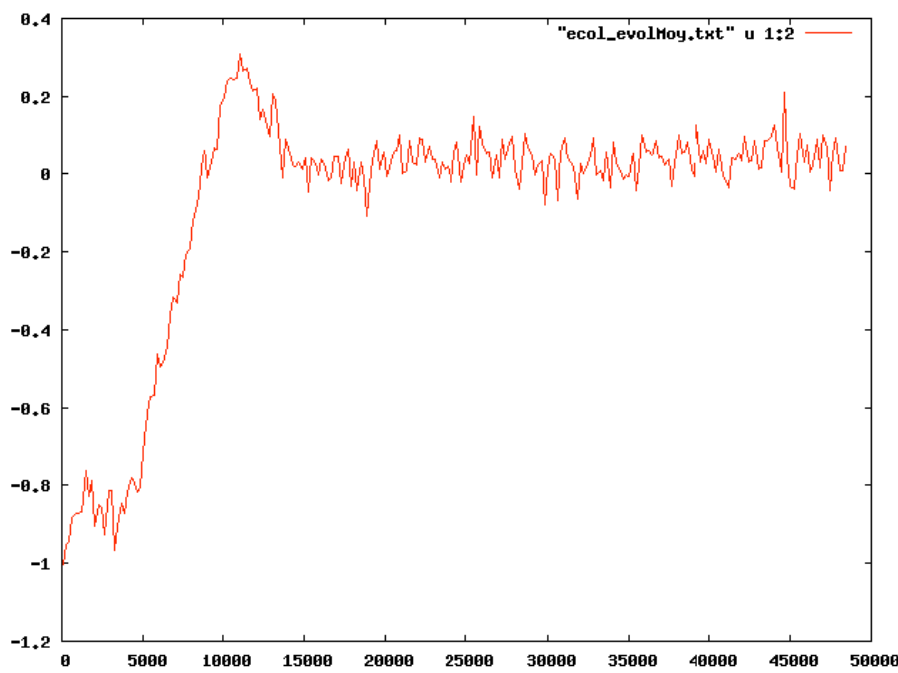
$$\frac{\textit{profit effectif} - \textit{profit de concurrence}}{\textit{profit de cartel} - \textit{profit de concurrence}}$$

Cet indicateur est égal à 1 quand le marché se stabilise à l'issue de cartel et à 0 quand il se stabilise à l'issue de concurrence²⁰. Il ne peut pas dépasser la valeur 1 mais il peut être négatif lorsque les décisions des agents sont incompatibles en ce sens que les quantités produites excèdent les capacités d'absorption du marché. Nous présentons, dans le graphique ci-dessous l'évolution de cet indicateur pour notre simulation centrale (S1).

¹⁹ Tous les indicateurs utilisés (indicateur de coopération, indicateur de coordination et prix moyen) sont calculés pour une génération (un marché) sur les périodes 20 à 100 (une fois le processus stabilisé).

²⁰ Si la valeur de 1 est spécifique d'une issue de cartel, la valeur 0 peut être atteinte même lorsque l'on ne se situe pas à l'issue de concurrence.

Graphique 2. Evolution de l'indicateur de coopération dans la simulation S1



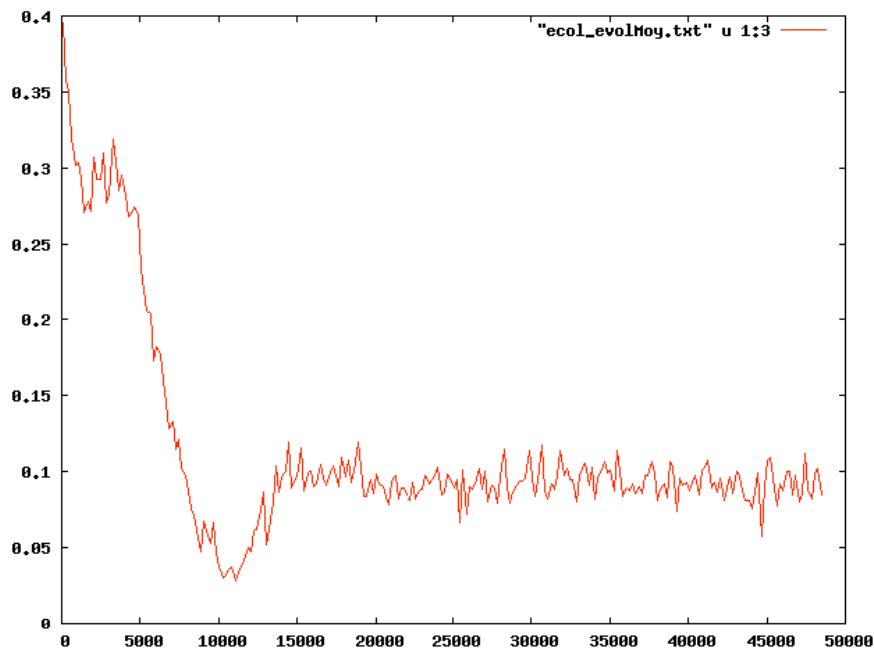
La compatibilité des décisions est mesurée par l'indicateur de coordination qui mesure l'écart entre les quantités produites et la demande exprimée :

$$\sum \frac{q_i}{D(p_i)} - 1 \quad \text{où } (p_i, q_i) = \text{la politique en prix et quantité de l'agent à une période}$$

$$D(p_i) = \text{la demande au prix } p_i$$

Une valeur positive indique une situation d'excès d'offre et une valeur négative une situation d'excès de demande. La valeur nulle signifie que tous les agents écoulent leurs quantités et qu'il n'y a pas de demandeurs non servis. Nous présentons, dans le graphique ci-dessous l'évolution de cet indicateur dans la S1.

Graphique 2. Evolution de l'indicateur de coordination dans la simulation S1



Dans la première phase (de l'installation des comportements coopératifs) on note :

- 1) une progression continue de l'indice de coopération qui partant d'une valeur assez fortement négative atteint un niveau assez élevé (0.31)²¹
- 2) une amélioration continue de la coordination : les marchés passent d'une situation d'excès d'offre à une situation d'équilibre
- 3) un prix moyen auxquels les transactions se concluent voisin du prix de l'issue de cartel

Les mêmes phénomènes ont été observés dans les autres simulations réalisées, avec des intensités proches. Nous avons remarqué cette fois que l'effet du nombre d'offreurs n'a pas un effet net sur l'issue moyenne observée. Par exemple, l'indice de la coopération est de 0.43 dans S2 ($n = 5$), de 0.31 dans S1 ($n = 10$) et, enfin, de 0.4 dans S3 ($n = 20$).

En revanche, nous avons observé que l'issue moyenne répond aux variations de paramétrage des comportements : l'indicateur de coopération est d'autant plus élevé que a est petit (0.34 lorsque a est égal à 1% et 0.21 lorsque a est égal à 9%). De même, le bruit

²¹ L'indicateur de coopération présenté ici est calculé en tant que moyenne lissée sur les 20 dernières générations à la fin de la première phase du processus de sélection.

appliqué aux règles de décision pures écarte l'issue moyenne observée de l'issue coopérative. L'indice de coopération passe de 0.51 lorsque le bruit est diminué par 10 (S6) et à 0.15 lorsque le bruit est multiplié par 2 (S7). Le traitement global de l'information positionne l'issue moyenne observée dans la proximité de l'issue coopérative : l'indicateur de coopération est de 0.56 dans S8. La variation dans la composition initiale des comportements (S12) n'écarte pas l'issue moyenne observée de l'issue de cartel. Le tableau 2 présenté dans l'Annexe D présente les valeurs de ces indicateurs (indice de coopération, indice de coordination, prix moyen dans toutes les simulations réalisées)

Dans la deuxième phase, qui voit la remontée des comportements non coopératifs, le panorama se modifie considérablement :

- 1) l'indice de coopération s'établit toujours à un niveau plus faible qu'en fin de phase 1
- 2) l'indice de coordination fluctue selon les simulations autour de d'une valeur de 10% ce qui indique une tendance permanente à une situation d'excès d'offre.
- 3) le prix moyen des transactions se réduit par rapport à celui constaté à la fin de la phase 1 et s'établit à un niveau supérieur de 15 à 20% à celui de l'issue concurrentielle. a cette issue les prix fluctuent autour d'une valeur située dans le voisinage du prix de l'issue concurrentielle soit remonte jusqu'au prix de l'issue de cartel. Du fait de la présence des comportements perturbateurs, cette issue n'est pas stable, même si elle est souvent tentée par les vendeurs.

Cette caractérisation de l'issue moyenne observée sur les marchés à la fin de l'évolution est commune, avec des intensités différentes, à toutes les simulations analysées. Lors de cette dernière phase de l'évolution, le nombre n d'offres retrouve son effet paradoxal :

la coopération moyenne est d'autant plus forte que n est élevé (-0.1 pour $n = 5$, 0.07 pour $n = 10$ et 0.2 pour $n = 20$).

Le sens de l'évolution de la coopération moyenne en fonction de différentes valeurs prises par a , le paramètre de réglage des comportements est identique par rapport à la première phase : la coopération moyenne est de 0.1 lorsque a est égal à 1% et elle est de 0.06 pour a égal à 9%. En revanche, la variation du bruit n'affecte pas la coopération de manière linéaire : l'indicateur moyen est de 0.02 lorsque le bruit initial est divisé par 10 et de -0.15 lorsque le bruit initial est multiplié par 2.

Nous avons également constaté que l'issue moyenne est plus proche de l'issue coopérative lorsque les agents réagissent en fonction du rationnement moyen du marché (l'indicateur de coopération est de 0.24 dans cette simulation).

L'introduction des comportements mimétiques semble détériorer l'état de la coopération entre les agents (indice de coopération moyenne de -0.13).

Nous présentons, dans le Tableau 3 de l'Annexe E les valeurs de ces indicateurs pour la dernière phase du processus de sélection dans chacune des simulations réalisées.

4 Conclusions

Cette approche évolutionnaire semble conduire à des conclusions étonnantes sur la dynamique des marchés concurrentiels. Premièrement, l'hypothèse que l'issue concurrentielle serait la plus probable pour ce type de marché ne semble pas vérifiée. Deuxièmement, l'idée que les comportements coopératifs seraient balayés par des comportements stratégiques est manifestement infirmée. Troisièmement, l'idée que l'augmentation du nombre d'opérateurs créerait un climat défavorable à l'adoption de comportements coopératifs est inversée. Toutefois, la capacité de cette catégorie de

comportements à imposer l'issue de cartel semble éphémère (même si elle se produit bien lors de la première phase du processus de sélection) car l'intrusion des comportements non coopératifs, même modérée, conduit à des situations instables.

Les résultats obtenus ici, dans cette structure de marché, sont robustes : les simulations effectuées en faisant varier certains paramètres ou le réservoir de comportements donnent des résultats similaires. Ils mériteraient d'être testés dans d'autres contextes de marché (bien hétérogène) et en présence d'autres comportements, surtout de nature irrationnelle (qui ne respectent pas la logique supposée par l'analyse économique pour ce type de marché).

References

- [1] F. Y. Edgeworth, (1925), "The Pure Theory of Monopoly" dans *Papers relating to Political Economy*, Vol. I, 2,
<http://cepa.newschool.edu/het/texts/edgeworth/edgew1e.pdf>
- [2] P. Dasgupta, E. Maskin (1986), The Existence of Equilibrium in Discontinuous Economic Games, I: Theory, *The Review of Economic Studies*, **vol. 53**, p. 1-26
- [3] D. H. Dixon, S. Wallis, S. Moss (2002), Axelrod meets Cournot: Oligopoly and the evolutionary metaphor, *Computational Economics*, **vol. 20**, p. 139-156
- [4] J. W. Friedman (1988), On the Strategic Importance of Prices versus Quantities, *The RAND Journal of Economics*, **vol. 19**, p. 607-622
- [5] D. K. Gode, S. Sunder (1993), Allocative Efficiency of Markets with Zero-Intelligence Traders: Market as a Partial Substitute for Individual Rationality, *Journal of Political Economy*, **vol. 101**, p. 119-137

[6] V.L Smith, G. Suchanek, A. Williams (1988), Bubbles crashes and endogenous expectations in experimental spot asset markets, *Econometrica*, vol. 56, p. 1119–1151

Annexe A.

Les règles de comportement des comportements simulés

Les « preneurs de prix »

Quel que soit le prix $p_{i,t}$ affiché par le joueur i à la période t , la quantité offerte ($q_{i,t}$) est donnée par l'équation suivante :

$$\forall t, p_{i,t} = Cm(q_{i,t}) \rightarrow q_{i,t} = q_0 + \sqrt{\frac{p_{i,t} - b}{a}} \quad (1).$$

avec a , b et q_0 des paramètres de calibrage du modèle de marché. Voir Annexe B pour les valeurs utilisées.

- le *preneur de prix* de type 1 (PP_1) : $\forall t, p_{i,t} = p_c$.

- le *preneur de prix* de type 2 (PP_2) : $\forall t, p_{i,t} = \bar{p}_{t-1}$.

- *preneur de prix* de type 3 (PP_3) : $\forall t, p_{i,t} = \left\{ (p_{j,t-1}) / (p_{j,t-1}) = \text{Max}_{j=1,n} \{ p_{j,t-1} \} \right\}$.

- *preneur de prix* de type 4 (PP_4) : $\begin{cases} \text{si } R_{i,t-1} \leq k\%, p_{i,t} = (1+k) * p_{i,t-1} \\ \text{si } R_{i,t-1} > k\%, p_{i,t} = (1-k) * p_{i,t-1} \end{cases}$.

Les comportements coopératifs

La quantité produite par le jouer i est égale à : $\forall t, q_{i,t} = \frac{1}{n} * D(p_{i,t}) \rightarrow q_{i,t} = A * p_{i,t}^\alpha$.

avec A, α des paramètres de calibrage du modèle définis dans l'Annexe B.

- le *coopératif de type 1* (Coop_1) : $\forall t, p_{i,t} = p_m$

$$\forall t, p_{i,t} = k * p_c + (1 - k_{i,t}) * p_m$$

- le *coopératif* de type 2 (Coop_2) : $\text{si } R_{i,t-1} \leq k\%, k_{i,t} = 1,1 * k_{i,t-1}$

$$\text{si } R_{i,t-1} > k\%, k_{i,t} = 0,9 * k_{i,t-1}$$

- $\forall t, \text{ si } R_{i,t-1} \leq k\%, p_{i,t}^a (1+k) * p_{i,t-1}$
- $\text{ si } \pi^e(p_{i,t}^a) \geq \pi^e(p_{i,t-1}) \text{ alors } p_{i,t} = p_{i,t}^a$
- $\text{ si } \pi^e(p_{i,t}^a) < \pi^e(p_{i,t-1}) \text{ alors } p_{i,t} = p_{i,t-1}$
- $\text{ si } R_{i,t-1} > k\%, p_{i,t} = (1-k) * p_{\bar{R},t-1}$
- le coopératif de type 3 (Coop_3) :
- $\forall t, \text{ si } \bar{R}_{t-1} \leq k\%, p_{i,t} = p_m$
- $\text{ si } \bar{R}_{t-1} > k\%, p_{i,t} = p_S$
- le comportement coopératif de type 4 (Coop_4) :

Les « stratégiques »

- le stratégique de type 1 (Strat_1) : $\forall t, (p_{i,t}; q_{i,t}) = (p_{MR,t-1}; q_{MR,t-1})$
- le « stratégique » de type 2 (Strat_2) : $\forall t, \text{ si } R_{i,t-1} \leq k\%, p_{i,t} = (1+k) * p_{i,t-1}$
 $\text{ si } R_{i,t-1} > k\%, p_{i,t} = p_{MR,t}$
- le « stratégique » de type 3 (Strat_3) : $\forall t, \text{ si } R_{i,t-1} \leq k\%, p_{i,t} = p_{MR,t}$
 $\text{ si } R_{i,t-1} > k\%, p_{i,t} = p_{i,t} = (1-k) * p_{i,t-1}$
- le « stratégique » de type 4 (Strat_4) :
- $\forall t, (p_{i,t}; q_{i,t}) = (p_{MR,t}^a; q_{MR,t}^a) \text{ où } (p_{MR,t}^a; q_{MR,t}^a) = (p_{MR,t-1}; q_{MR,t-1})$

Annexe B

Le cadre de marché utilisé

Dans ce marché n vendeurs produisent un bien homogène (des fraises) avec un coût marginal de production quadratique. Les conditions de productions sont identiques pour tous les vendeurs. Le coût marginal pour produire une quantité q est égal à :

$$Cma(q) = a(q - q_0)^2 + b$$

où : q_0 = la quantité pour laquelle le coût marginal atteint son minimum

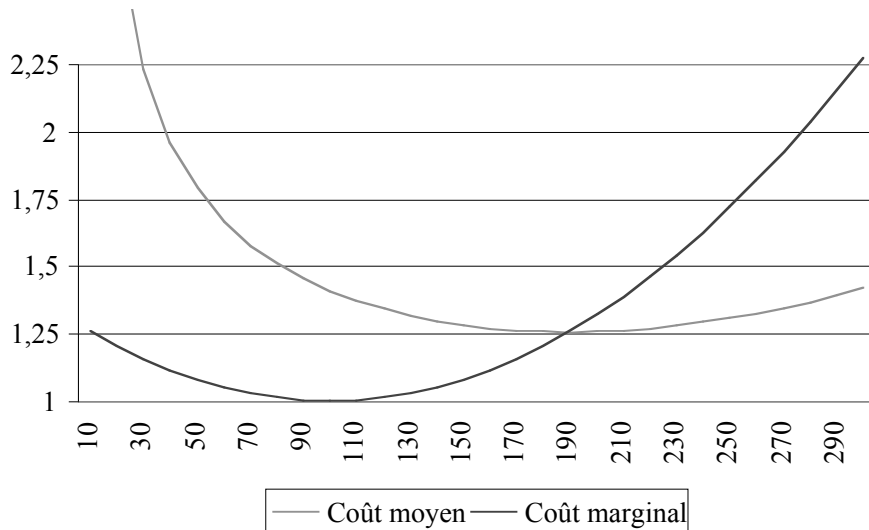
a = un paramètre de calibrage du modèle²²

b = le minimum de la fonction de coût marginal²³.

Figure 4. Représentations des fonctions de coût (moyen, marginal) utilisées lors de nos expérimentations

²² Lors de nos expérimentations la valeur de ce paramètre a été de 3,184E-05.

²³ Dans nos expérimentations, la valeur de b a été de 1.



La fonction de demande est décroissante, iso-élastique et varie en proportion avec le nombre n de vendeurs :

$$D(p) = nA p^{\alpha}$$

où n = le nombre de vendeurs sur le marché

p = le prix affiché

A = un paramètre de calibrage²⁴

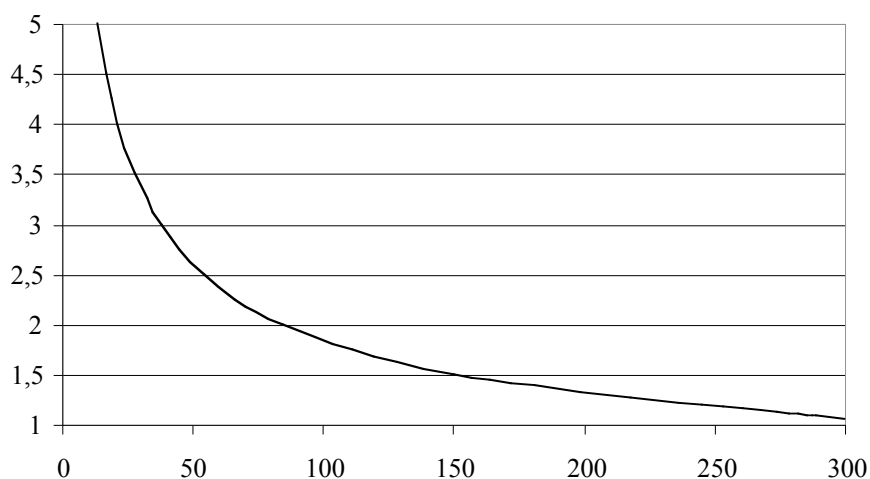
α = le coefficient d'élasticité de la demande²⁵.

Nous représentons la demande fractionnelle (un $n^{\text{ème}}$ de la demande totale au prix affiché) dans la Figure 5 ci dessous :

²⁴ Dans les expérimentations réalisées la valeur de ce paramètre est de 336,8.

²⁵ Dans toutes nos expérimentations le coefficient d'élasticité de la demande par rapport au prix affiché a été de -1,99.

Figure 5. Demande fractionnelle sur le marché analysé



Annexe C.

Tableau 1. Compositions (en %) des réservoirs de comportements dans les simulations à la fin de la phase d'installation (p_i) et à la fin du processus (p_f)

Comp/ Sim	Preneur de prix type				Coopératif type				Stratégique type				Mimétique	
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4		
S1	p_i	9,2	1,9	0	0	0	0	7,4	77,1	0,2	3,7	0	0,5	-
	p_f	0	0,1	0	0	0	0	8,4	76,6	7,7	7,2	0	0	-
S2	p_i	8,1	1	0,2	0,1	2	2,6	7,1	74,8	1,2	2,3	0,1	0,5	-
	p_f	1,1	0	0	0	0	1,3	29,3	49,9	17,9	0,5	0	0	-
S3	p_i	6,3	0,6	0	0	0	0	4,4	88,1	0	0,5	0	0,1	-
	p_f	0	0	0	0	0	0	1,1	90,7	0	8,2	0	0	-
S4	p_i	8,8	2,1	0	0	0,2	0	6,7	79,5	0,1	2,4	0	0,2	-
	p_f	0	0,1	0	0	0	0	9,4	75,2	0	15,3	0	0	-
S5	p_i	10,1	2,1	0	0	0	0	11,6	70,7	0,2	4,6	0	0,7	-
	p_f	0	0	0	0	0	0	7	77,5	5,2	10,3	0	0	-
S6	p_i	7,5	3,1	0	0	0	0,1	3,1	84	1,1	0,9	0	0,2	-
	p_f	0	15,7	0	0	0	0	12,9	66,7	1,7	3	0	0	-
S7	p_i	13,9	1,1	0	0	0,1	0,1	16,2	64,6	0,1	2,7	0	1,2	-
	p_f	0	0	0	0	0	0	25	60,8	0	0	0	14,2	-
S8	p_i	6,8	2,5	0	0	0	5,1	0	85,6	0	0	0	0	-
	p_f	0	14,1	0	0	0	10	0	75,9	0	0	0	0	-
S9	p_i	10,8	1,9	0	0	0	0,1	8,4	75,2	0,1	2,9	0	0,4	0,2
	p_f	0	0,6	0	0	0	0	6,2	71,5	11,7	0	0	0	10

Rappel : à l'initialisation de chacune de ces simulations, la proportion de chacun des comportements envisagés est égale.

- S1 : n=10, k=5 %, information partielle/globale, écart type du bruit : 4% pour les prix et 8% pour les quantités, 12 comportements
- S2 : n = 5, k = 5%, information partielle/globale, écart type du bruit : 4% pour les prix et 8% pour les quantités, 12 comportements
- S3 : n = 20, k =5%, information partielle/globale, écart type du bruit : 4% pour les prix et 8% pour les quantités, 12 comportements
- S4 : n=10, k = 1 %, information partielle/globale, écart type du bruit : 4% pour les prix et 8% pour les quantités, 12 comportements
- S5 : n=10, k = 9 %, information partielle/globale, écart type du bruit : 4% pour les prix et 8% pour les quantités, 12 comportements
- S6 : n=10, k =5 %, information partielle/globale, écart type du bruit : 0.4% pour les prix et 0.8% pour les quantités, 12 comportements
- S7 : n=10, k =5 %, information partielle/globale, écart type du bruit : 8% pour les prix et 16% pour les quantités, 12 comportements
- S8 : n=10, k =5 %, information globale, écart type du bruit : 4% pour les prix et 8% pour les quantités, 12 comportements
- S9 : n=10, k =5 %, information partielle/globale, écart type du bruit : 4% pour les prix et 8% pour les quantités, 12 comportements + mimétique

Annexe D.

Tableau 2. Valeurs moyennes des principaux indicateurs synthétiques des simulations en fin de première phase du processus de sélection²⁶

Indicateur	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
Coordination	0,03	0,03	0,01	0,02	0,05	0,02	0,06	0	0,02
Coopération	0,31	0,42	0,4	0,34	0,21	0,51	0,15	0,56	0,34
Prix moyen	1,63	1,72	1,65	1,65	1,62	1,76	1,65	1,77	1,64

Annexe E.

²⁶ Dans ce tableau, nous avons calculé la moyenne des 80 dernières périodes dans chaque marché retenu pour l'analyse.

Tableau 3. Valeurs moyennes des principaux indicateurs synthétiques des simulations en fin de la deuxième phase du processus de sélection

Indicateur	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
Coordination	0,08	0,16	0,03	0,07	0,09	0,09	0,16	0,06	0,13
Coopération	0,07	-0,1	0,2	0,1	0,06	0,02	-0,15	0,24	-0,13
Prix moyen	1,57	1,72	1,53	1,55	1,56	1,55	1,58	1,64	1,54